

GOLFOPLOOP OP EEN CONVENTIONELE STORTSTEENGOLFBREKER: INVLOED VAN INVALLENDE GOLVEN VERSUS TOTALE GOLVEN

Vanmassenhove Bert en Dwayne Vanbillemont

KHBO, Departement IW&T, Afdeling Bouwkunde
Zeedijk 101, 8400 Oostende, Belgium
E-mail: bert.vanmassenhove@soetaert.be

Inleiding

Golfbrekers zijn kustwaterbouwkundige constructies die dienen om havens, offshore eilanden en kusten te beschermen tegen golfaanval van op zee. Vanuit financieel oogpunt is een golfbreker met een lage kruinhoogte goedkoper dan een golfbreker met een hoog kruinpeil omdat het volume materiaal, en dus ook de kostprijs van het materiaal, nodig om de structuur te belichamen, recht evenredig is met het kwadraat van de hoogte van de constructie. Bovendien veroorzaakt een golfbreker met lage kruinhoogte weinig visuele hinder. Toch dient de kruinhoogte van de constructie hoog genoeg te zijn om de veiligheid van de achterliggende gebieden te vrijwaren voor schade aangericht door overslaande golven. Afhankelijk van de activiteiten die achter de golfbreker plaatsvinden kan veel of weinig golfoverslag toegelaten worden.

Golfbrekers worden ontworpen d.m.v. fysische modelproeven en/of numerieke modellering. Tijdens het ontwerpproces worden steeds de ontwerprandvoorwaarden getest in de uiterste grenstoestand. Zelden wordt gekeken naar golfrandvoorwaarden in de gebruiksgrenstoestand welke een veel kleinere retourperiode hebben dan de ontwerpretourperiode (in de grootte-orde van 10^3 à 10^4 jaar). In het doctoraatswerk van Van de Walle (2003) werd wel gekeken naar deze lagere retourperiodes om zo een beter inzicht te krijgen in het gedrag van de structuur en de respons van de structuur op de golfbelasting.

Definities

Een regelmatige golf wordt gekenmerkt door een golfhoogte H [m], een golfperiode T [s] en een golflengte L [m]. Op zee komen regelmatige golven zelden voor. Meestal neemt men op zee een onregelmatig golfbeeld waar dat een superpositie is van verschillende golven. Elk van deze golven heeft een eigen golfhoogte en -periode. Onregelmatige golven worden gekarakteriseerd door een representatieve waarde voor de golfhoogte en de golfperiode. De golfhoogte wordt gekarakteriseerd door de significante golfhoogte H_{mo} [m] welke bij benadering gelijk is aan het gemiddelde van de 33% grootste opgemeten golven. Voor wat de golfperiode betreft zijn er verschillende parameters bruikbaar: de piekperiode T_p [s] die wordt bepaald door het maximum van het golfspectrum, de gemiddelde spectrale golfperiode T_{01} [s] welke de 'gemiddelde' golfperiode is en de spectrale periode T_{m-10} [s] die tegenwoordig gebruikt wordt als dé maatgevende parameter in dijkontwerp [TAW (2002), EurOtop (2007)]. Bij de berekening van deze laatste parameter wordt meer gewicht toegekend aan de lange golven in het spectrum dan aan de korte golven omdat, zo is gebleken uit onderzoek (TAW (2002)), lange golven veel meer invloed hebben op golfoploop en –overslag dan korte golven.

Golfoploop (R_u [m]) wordt gedefinieerd als de verticale afstand tussen het niveau welke door de oplopende golf wordt bereikt en het stil water peil (SWL). Onregelmatige golfoploop wordt gekenmerkt door de parameter $R_{u_{x\%}}$ [m]. Hiermee wordt de waarde van de golfoploop gegeven die door $x\%$ van alle golfoplopen wordt overschreden. Een veel voorkomende waarde in de literatuur is $R_{u_{2\%}}$. Meestal wordt golfoploop relatief uitgedrukt t.o.v. de significante golfhoogte als $R_{u_{2\%}}/H_{mo}$ [-], verder 'dimensieloze golfoploop' genoemd. Het aantal golfoplopen waarop x betrekking heeft wordt berekend uitgaande van de totale tijdsduur van de test en de gemiddelde golfperiode T_{01} .

In de literatuur is golfoploop steeds terug te vinden als functie van het getal van Iribarren ξ [-] welke bepaald wordt door de golfsteilheid $s = H/L$ [-] en de helling van de structuur. Het getal van Iribarren duidt aan of een golf al dan niet breekt en de wijze waarop de golf breekt: schuimende ($\xi < 1$), overstortende ($1 < \xi < 3$) of oplopende ($\xi > 3$) breker.

Doelstelling

Eind 2001 werden in het kader van het Europees onderzoeksprogramma 'Access to Research Infrastructures' proeven uitgevoerd in het Großen Wellen Kanal (GWK) in Hannover in Duitsland (www.hydro-lab.de). Het GWK is de grootste onderzoeksfaciliteit ter wereld m.b.t. kustwaterbouwkunde. Het GWK omvat o.a. een golfgoot met een lengte van 307m, een breedte van 5m en een diepte van 7m. Aan de ene zijde van de golfgoot bevindt zich het golfschot dat een translatiebeweging van ongeveer 2m kan uitvoeren. Aan de andere zijde van de golfgoot werd een stortsteengolfbreker gebouwd. De golfbreker was opgebouwd uit een kern, een filterlaag en twee soorten stortsteen als deklaag. De golfbreker had een hoogte van 3.5m en werd gebouwd op een twee meter dikke zandlaag die onder een helling van 1:50 werd aangelegd. In de golfgoot werden 22 golfmeters geplaatst om de verheffingen van het wateroppervlak op te meten en also de verschillende golfparameters te kunnen bepalen. Op het talud van de golfbreker werden meetbakens geplaatst om de golfoploop op te meten. Er werden in totaal 93 proeven uitgevoerd. Het doel van deze proeven was tweevoudig: enerzijds het verzamelen van meetgegevens om nadien eventuele schaal- en modeeffecten te kunnen identificeren bij vergelijking met meetresultaten van proeven op kleine schaalmodellen in andere laboratoria en anderzijds het vaststellen van een eventueel verschil in golfoploop t.g.v. een verschillende oppervlakteruwheid van de deklaag.

De golven gegenereerd door het golfschot aan het ene uiteinde van de golfgoot planten zich voort naar het andere uiteinde van de golfgoot waar de constructie is ingebouwd. Eenmaal deze golven op de constructie botsen (invallen), wordt de golfenergie in deze golven deels geabsorbeerd door de constructie en deels gereflecteerd. De hoeveelheid energie die gereflecteerd wordt is bepaald door de reflectiecoëfficiënt C_r . De gereflecteerde golven planten zich voort in de omgekeerde richting, d.w.z. van de constructie naar het golfschot. Een golfhoogtemeter in de golfgoot meet aldus zowel de invallende golven als de gereflecteerde golven, m.a.w. de 'totale' golven. De meetresultaten werden reeds verwerkt in de doctoraats thesis van Van de Walle (2003). In deze thesis werden naast de proeven in het GWK ook tal van andere golfoplopmetingen uitgevoerd in andere laboratoria en in 'reality conditions' op de golfbreker van Zeebrugge. Aangezien op de golfbreker van Zeebrugge enkel de totale golven opgemeten konden worden en deze metingen als dé belangrijkste

metingen werden aanzien werd in de ganse thesis verder gewerkt met de superpositie van invallende en gereflecteerde golven. Echter, in de literatuur vindt men veelal ontwerpformules terug die golfploop voorspellen op basis van de invallende golf aan de teen van de golfbreker en niet de totale golf. Daarom was de doelstelling van deze thesis het vergelijken van de golfploopresultaten uit Van de Walle (2003) met de resultaten van een analyse van de meetgegevens waarbij enkel de invallende golven worden beschouwd. Een tweede doelstelling was het kwantitatief bepalen van het (eventuele) verschil tussen de resultaten bekomen uit beide werkwijzen.

Methodologie

Om bovenstaande doelstellingen te bereiken werden volgende stappen ondernomen:

- literatuurstudie
- verwerking van de meetgegevens
- vergelijken van de resultaten met de literatuur
- conclusies

Om de golfmeetgegevens om te zetten naar de verschillende bruikbare golfparameters werd gebruik gemaakt van frequentieanalyse. Hierbij wordt de meetdata omgezet naar een golfspectrum d.m.v. de theorie van de discrete Fast Fouriertransformatie (FFT).

Er bestaan verschillende theorieën om totale golven te splitsen in invallende en gereflecteerde golven, zowel in frequentie- als in tijdsdomein. Bij de methodes die gebaseerd zijn op frequentieanalyse wordt uitgegaan van het feit dat de (totale) golven een som zijn van een eindig aantal regelmatige golven met verschillende frequenties en fases. De methode van Mansard en Funke werd toegepast door gebruik te maken van het softwareprogramma RefCross dat aan de Universiteit van Aalborg (Denemarken) werd ontwikkeld.

Het verder verwerken van de meetdata en het bepalen van de golfparameters gebeurde in LabView en Excel. Er werden in totaal 56 reeksen meetdata verwerkt, goed voor ongeveer 140 miljoen meetwaarden.

Het statisch verwerken en vergelijken van de resultaten gebeurde a.d.h.v. het softwareprogramma SPSS.

Resultaten

Wanneer de verschillende golfparameters voor invallende golven en totale golven met elkaar vergeleken worden kan besloten worden dat:

- de waarden voor de significante golfhoogte $H_{mo,inc}$ van de invallende golven algemeen lager liggen dan de waarden voor de significante golfhoogte $H_{mo,tot}$ van de totale golven. Naarmate hogere golven worden beschouwd, wordt het verschil tussen de significante golfhoogtes groter.
- de waarden voor de piekperiode $T_{p,inc}$ van de invallende golven algemeen hoger liggen dan de piekperiodes $T_{p,tot}$ van de totale golven. Algemeen geldt dus een verschuiving naar de lagere frequenties voor het invallende spectrum ten opzichte van het totale spectrum.

- voor de gemiddelde golfperiode T_{01} dezelfde trend kan waargenomen worden als voor T_p . De trend waarbij een hogere periode bekomen wordt voor invallende golfspectra is echter meer uitgesproken bij de gemiddelde periode T_{01} dan bij de piekperiode T_p .

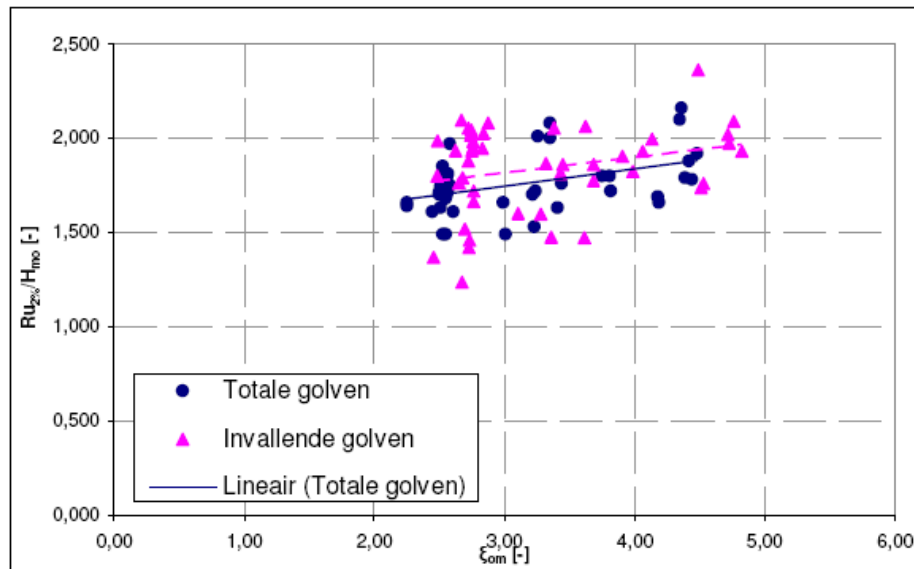


Fig. 1. Dimensieloze golfloop $Ru_{2\%}/H_{mo}$ in functie van het getal van Iribarren ξ_{om} .

In Fig. 1 is de dimensieloze golfloop uitgezet in functie van het getal van Iribarren en dit voor zowel totale als voor invallende golven. Door de algemeen hogere waarden voor $Ru_{2\%}$ bij invallende golven ten opzichte van totale golven liggen de meetresultaten voor invallende golven ook ten opzichte van de gemiddelde waarden van Iribarren hoger. De best passende rechte voor invallende golven ligt ongeveer 6% hoger dan de best passende rechte voor totale golven. De spreiding op de resultaten is voor beide reeksen nagenoeg gelijk: de standaardafwijking voor invallende golven bedraagt 0.23 terwijl de standaardafwijking voor totale golven 0.28 bedraagt.

Een statistische test werd uitgevoerd op de twee bekomen reeksen golfloopdata. Uit de output van het statische computerprogramma SPSS kan, met een significantieniveau van 5%, besloten worden dat er wel degelijk een significant verschil is tussen de twee trendlijnen. Dezelfde conclusie kan getrokken worden uit de grafieken met op de abscis de waarden van het getal van Iribarren berekend met de piekperiode T_p of berekend met de spectrale periode T_{m-10} .

In Fig. 2 werden de waarden van de dimensieloze golfloop voor invallende golven tegenover de waarden van de dimensieloze golfloop voor totale golven geplaatst. Uit deze figuur kan afgeleid worden dat het verschil tussen de waarden van de dimensieloze golfloop voor invallende golven en totale golven niet toe- of afneemt voor veranderende

dimensieloze golfoploop waarden. Wel valt op dat de hogere waarden voor de dimensieloze golfoploop bij totale golven vooral voorkomen bij de lagere en de hogere waarden. Algemeen kan dus gesteld worden dat dimensieloze 2% golfoploop waarden berekend aan de hand van de totale golven een onderschatting zal opleveren van de golfoploop ten opzichte van bepalingen aan de hand van invallende golven. Voor uiterste waarden zou kunnen gesteld worden dat deze stelling niet opgaat. Dit is dan vooral het geval voor lagere waarden van de dimensieloze golfoploop.

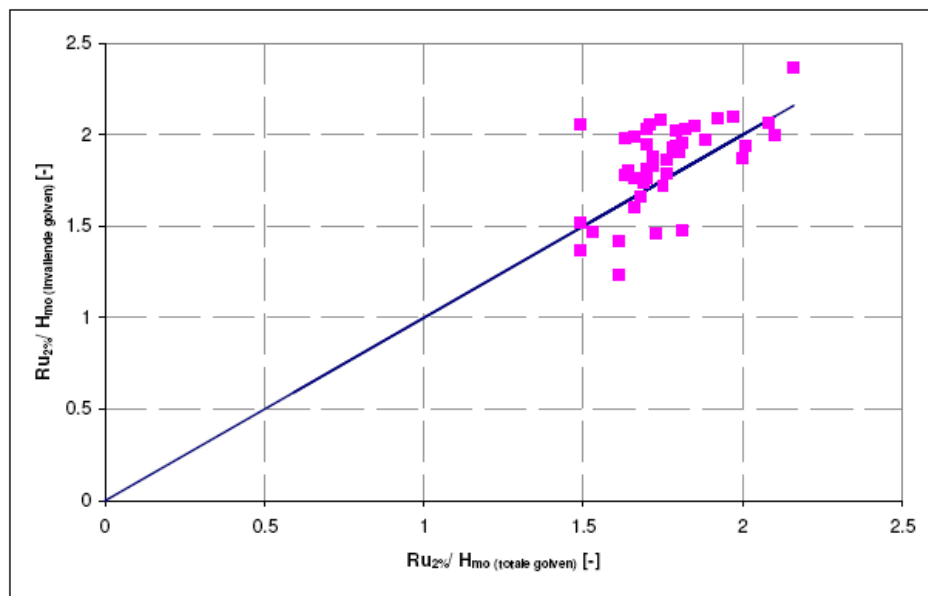


Fig. 2. Dimensieloze golfoploop $Ru_{2\%}/H_{mo}$ voor invallende golven t.o.v. dimensieloze golfoploop $Ru_{2\%}/H_{mo}$ voor totale golven.

De resultaten van de analyses, uitgevoerd met zowel totale als met invallende golven, werden vergeleken met de theoretische formule van van de Meer en Stam (1992). In Fig. 3 is deze theoretische functie van de dimensieloze golfoploop in functie van het getal van Iribarren, berekend met de gemiddelde periode T_{01} , weergegeven. In dezelfde grafiek zijn ook de in deze thesis berekende waarden van de invallende en de totale golven opgenomen. Wanneer de data vergeleken wordt met de theoretische lijn van van der Meer en Stam (1992) ziet men een betere overeenkomst met de theoretische lijn voor de gegevens bekomen door analyse van de invallende golven dan voor de gegevens bekomen door analyse van de totale golven.

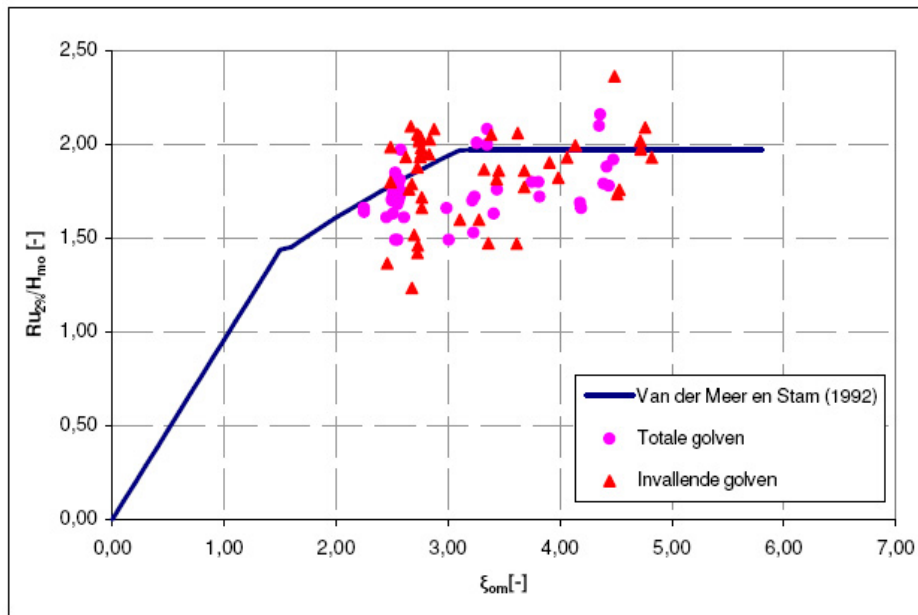


Fig. 3. Dimensieloze golfoploop $Ru_{2\%}/H_{mo}$ [-] t.o.v. het getal van Iribarren ξ_{om} [-] volgens formule van van der Meer en Stam (1992) en voor totale en invallende golven.

Conclusies

Voor het merendeel van de testen kan besloten worden dat het beschouwen van enkel het invallende golfspectrum een verhoging van de dimensieloze golfoploop met zich meebrengt: de invallende golven kennen een hogere waarde (verschillen van 5% tot 10%) voor de dimensieloze golfoploop $Ru_{2\%}/H_{mo}$ dan het geval is voor totale golven.

Referenties

- Mansard E. and E. Funke. 1980. The measurement of incident and reflected spectra using a least square method. Proceedings 17th International Conference on Coastal Engineering. Sydney, Australia. Vol. 1:154-172.
- Pullen T., N.W.H. Allsop, T. Bruce, A. Kortenhaus, H. Schüttrumpf and J.W. van der Meer. 2007. EurOtop Wave overtopping of sea defences and related structures: Assessment Manual.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. 2002. Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken, Delft.
- Van de Walle B. 2003. Wave run-up on rubble mound breakwaters. PhD-thesis, Universiteit Gent, Afdeling Weg- en Waterbouwkunde.
- Van der Meer J.W. and C.J. Stam. 1992. Wave run-up on smooth and rock slopes of coastal structures. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering 118(5): September/October.